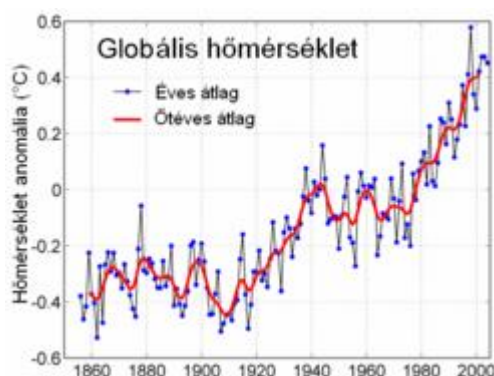


KLÍMAVÁLTOZÁS: MESE VAGY FENYEGETŐ VALÓSÁG?

Náray-Szabó Gábor főigazgató, MTA Könyvtára

1. Bevezetés

Az Éghajlat-változási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) szerint a levegő földközeli átlaghőmérséklete 1905 és 2005 között $0,74 \pm 0,18$ °C-kal emelkedett (1) (1. ábra). Ezt a tudományosan megalapozott tényt kevesen vonják kétségbe,

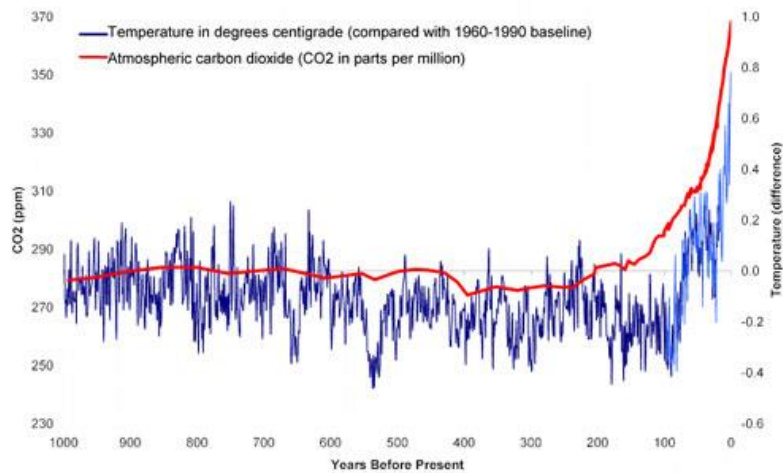


1. ábra: A felszíni hőmérséklet változása 1860 és 2000 között (C°)(2)

csak arról folyik az élénk, időnként alantas eszközöket is felvonultató vita, hogy mi ennek az oka. Többen, főleg geológusok és geofizikusok azt szokták emlegetni, hogy a Föld története során többször volt hasonló mértékű hőmérsékletingadozás, ez tehát nem új jelenség. Csak azt felejtik ki az érvelésből, hogy a felmelegedés (vagy lehűlés) nem egyetlen évszázad, hanem több tízezer év alatt következett be, volt tehát ideje az élővilágnak az alkalmazkodáshoz.

Az utca embere joggal teszi fel a kérdést, hogy miért csapunk ekkora lármát néhány tized fok hőmérsékletváltozás miatt, ha ez a szobában történik, észre sem vesszük. A Föld légköre azonban rendkívül összetett, időnként és helyenként kaotikusan viselkedő rendszer, melyben egy-egy paraméter (hőmérséklet, nyomás, napsugárzás) egészen csekély változása is brutális hatást válthat ki, ezért érdemes mélyebben elgondolkodni a problémán. Mára a tudósok döntő többsége, nyomukban a közvélemény jelentős hányada is elfogadja, hogy szoros kapcsolat van a hőmérsékletváltozás és a légkör szén-dioxid koncentrációja között, márpedig az ember gazdasági tevékenysége – elsősorban a fosszilis tüzelőanyagok (kőszén, kőolaj, földgáz) elégetése – következtében ez is jelentősen növekedett (l. 2. ábra).

Az alábbiakban röviden bemutatom a hőmérséklet-változás és a szén-dioxid koncentráció között kapcsolatot teremtő üvegházhatás lényegét, az ennek következtében fellépő éghajlatváltozás jeleit és lehetséges hatásait, felhívom a figyelmet a potenciális veszélyekre, végül kifejezem a véleményemet arról, hogy mi – lenne – a teendő.



2. ábra: A felszíni hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$, jobboldali skála, cikk-cakkos görbe) és a szén-dioxid koncentráció (ppm, baloldali skála, sima görbe) időbeli változása az elmúlt ezer évben (3).

2. Üvegházhatás

Üvegházhatásnak nevezzük azt a jelenséget, melynek során a napsugárzás behatol pl. egy valódi üvegházba, az ablakon át a téli lakásba vagy a Föld légkörébe, de a felszínről visszasugárzott energia egy része nem jut ki belőle, mert a külső határoló fal (az üveg vagy a légkörben megtalálható üvegházhatású gázok) nem engedi ki (4), ezért az üvegház, a szoba vagy a légkör felmelegszik. Több mint száz éve egy svéd vegyész, Svante Arrhenius írta le mennyiségileg a szén-dioxid üvegházhatását, mely azóta számos kutatás tárgya lett. A légköri jelenség csak formailag hasonlít a valódi üvegház hatásához, amely azáltal melegszik fel, hogy a fal megakadályozza a meleg levegő kiáramlását. A légkörben ezzel szemben a Föld felszínéről visszaverődő sugárzást nyeli el valamely (ún, üvegházhatású) gáz, és az elnyelt energiát átadja a légkör különböző összetevőinek, valamint visszasugározza a felszínre is.

Az üvegházhatású gázok egyike a vízgőz, mely szinte kizárólag a troposzférában található meg felhők, eső köd vagy hó alakjában. Durva becslés szerint mintegy 60 %-ban járul hozzá az üvegházhatáshoz, de ez természetes folyamat, melyet az emberi tevékenység alig befolyásol (5). Ugyanakkor pozitív visszacsatolás révén megsokszorozza az antropogén üvegházhatást, ezt a folyamatot viszont gátolja a felhők keletkezése, mely a hőmérséklet növekedése miatt intenzívebbé válik. A vízgőz pontos szerepe nem tisztázott, egy azonban bizonyos: az emberi tevékenység közvetlenül alig befolyásolja a légkörben lévő mennyiségét, mely állandó, az egyensúlyi mennyiséget meghaladó vízgőz, pára vagy köd egy idő múlva csapadék formájában visszakerül a Földre. Ezért a szén-dioxid, mely csak mintegy 20 %-ban felelős az üvegházhatásért, a felmelegedés antropogén tényezői közül a legfontosabb. A maradék 20 %-ot egyéb gázok teszik ki, például az ózon, a nitrogénoxidok és a metán. Ezek mennyiségét viszont befolyásolja az emberi tevékenység. Az ózonréteg jelentősen elvékonyodott, vagyis a gáz mennyisége csökkent a klór-fluor szénhidrogének elterjedése és felső légkörbe jutása miatt, a regenerálódáshoz lefelé 100 év kell (6). Nitrogénoxidok keletkeznek a gépkocsik kipufogógázában, ezek a légkörbe jutva hozzájárulnak az üvegházhatáshoz, bár nem jelentős mértékben. Külön figyelmet érdemel a metán, melynek egységnyi mennyiségére vonatkoztatva több mint tízszeres a hatása a szén-dioxidhoz képest. Elsősorban a mezőgazdasági tevékenység következtében jut metán a környezetbe, pl. a tehének emésztés közben sok gázt bocsátanak ki. Igen veszélyes lehet azonban a szibériai mocsarakban elnyelt, nagy mennyiségű metán, mely a globális felmelegedés során

kiszabadulhat az örök fagy rabságából. Ha a légkörbe kerül, pozitív visszacsatolás alakulhat ki, egyre több metángáz egyre nagyobb felmelegedést okozna, ez viszont egyre több gázt szabadítana fel a szibériai, jelenleg állandóan fagyott talajból (6).

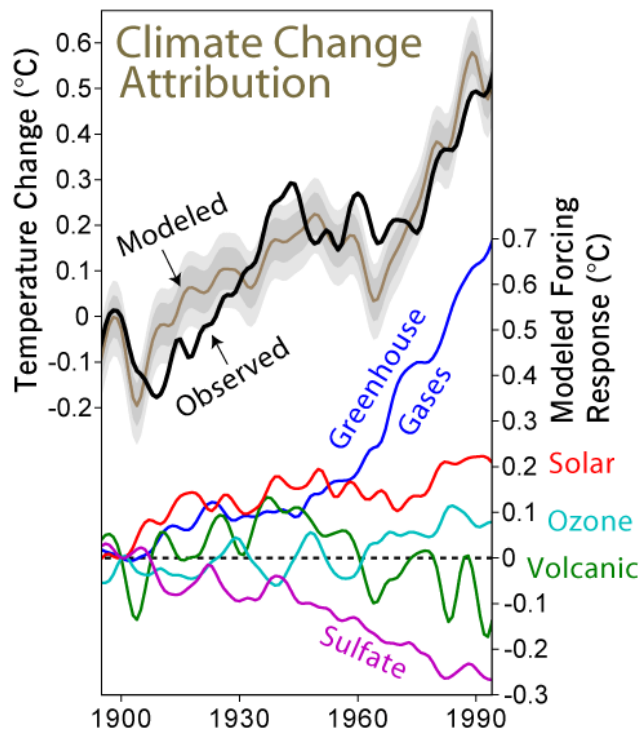
3. Éghajlatváltozás

A globális felmelegedés következtében eleinte feltűnés nélkül, ma már azonban egyre észrevehetőbben változik a Föld éghajlata (6,7). Lássuk, miben áll ez? Hangsúlyozom, hogy nem arra kell gondolni, hogy a Föld minden pontján, minden pillanatban melegebb lesz, ez nem is felel meg a tapasztalatainknak. Idén, 2010 telén nemhogy melegebb, sokkal inkább hidegebb volt Magyarországon, mint az előző években, ugyanakkor a déli féltekén nagy volt a forróság. A klímaváltozás leginkább a szélsőséges időjárási események révén követhető nyomon, ezekből bőven kijutott a Kárpát-medencének is. A fagyos szentek szélsőséges lehülést, hirtelen lezúduló, nagymennyiségű csapadékot és orkánszerű viharokat hoztak, melynek együttes kárértéke igen magas volt (8). Világszerte folyamatosan növekszik a biztosítók által kifizetett kártérítések összege (6), folyamatosan érkeznek a beszámolók a nyugat-európai, sokszor emberáldozatot is követelő viharokról, melyek egyike letarolta fél Svájc, egy másik pedig a Magas Tátra erdeit. Egyre több a soha nem tapasztalt, pusztító árvíz (pl. az Elbán, a Tiszán, a Visztulán), melyek oka a hirtelen lehulló, nagy mennyiségű csapadék és a hegyek oldaláról letarolt növényzet és talaj, mely, míg sértetlen volt, átmenetileg visszatartotta a vizet, mely így egyenletesebb ütemben folyhatott le.

Világszerte több ponton radikális változásokat hozhat a globális felmelegedés (9). A Szahara valószínűleg elkezd zsugorodni, több lesz a csapadék, ami annyit jelent, hogy a sivatag helyén gazdag flórával rendelkező terület alakulhat ki. Ez azonban nemcsak pozitív, hanem negatív hatásokat is válthat ki. Pl. a zsugorodás miatt ritkább szélviharok kevesebb port szállítanak az Atlanti óceán fölé, ami károsan befolyásolná a táplálékláncot, mivel a szaharai homokban sok a szerves anyag. Az Amazonas medencéjében viszont csökken a csapadék mennyisége, ami az erdők kiszáradásával járhat. Növekszik az ózonlyuk, leolvad a jégtakaró Grönland szigetéről és a Tibeti fennsíkról, ami tovább növeli a felmelegedést, mert a fehér hó visszaveri a Nap sugárzását, míg a hómentes, sötét felszín elnyeli a meleget. Óriási jégdarabok válhatnak le az Antarktiszról (néhány éve egy már le is vált), melyek észak felé vándorolva jelentősen lehűtik a légkört és így befolyásolják a klímát. A globális felmelegedés megbolygathatja az óceáni áramlatokat, felborulhat a tengeri élővilág kényes egyensúlya. Megzavarodik az indiai félszigeten a monszun esőzések évezredek óta megszokott rendje, eltolódik a monszun kezdete, változik az intenzitása és a lehulló csapadék mennyisége.

A klímaváltozás talán legsúlyosabb jelei az egyre gyakoribb és egyre pusztítóbb hurrikánok (10). A melegedő óceán fölött összetorlódó egyre melegebb levegő hihetetlen energiával száll felfelé, egyre pusztítóbb kataklizmát váltva ki. Megfigyelték, hogy az igen erős hurrikánok száma folyamatosan nőtt az elmúlt években, az USA déli partjait néhány éve sújtó Katrina pusztítására korábban nem volt példa.

A kincstári optimizmus – főleg a gazdaságból jövő – képviselői nem hiszik vagy nem akarják hinni, hogy az éghajlatváltozást az emberi tevékenységre lehet visszavezetni. Ezzel szemben a különböző, ma már meglehetősen pontos számítógépes modellek egyre erősebben támasztják alá azt a feltételezést, hogy a felmelegedés a növekvő széndioxid-kibocsátás következménye (l. a 3. ábrát). Látható a jó egyezés a számított és a megfigyelt felmelegedés között, ugyanakkor egyértelmű az üvegházhatású gázok meghatározó szerepe az 1960 és 1990 között bekövetkező felmelegedésben.



3. ábra: A felszíni hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$, jobboldali skála) időbeli változása a 20. században a számítógépes modell és a megfigyelés szerint (11). Az alsó görbék az egyes légköri összetevők hozzájárulását mutatják a teljes felmelegedéshez.

4. Veszélyek

A 21. században jelentős változások várhatók a természetes rendszerekben. A lehulló csapadék mennyiségének változása, az olvadó jég és hó tovább növeli az áradások kockázatát egyes régiókban, míg másokban aszályt idézhet elő. Ez súlyosan veszélyezteti az élővilágot, számos fajta nem tud alkalmazkodni a gyors változásokhoz, ezért kihal vagy a kihálás szélére sodródik.

Veszélyek leselkednek az emberiségre is, elsősorban a szegényekre a déli féltekén, miután ők sem képesek alkalmazkodni a klímaváltozáshoz. Afrika különösen veszélyeztetett, mert gyorsan nő a népessége és a gazdasági tevékenység, ugyanakkor csekély az alkalmazkodó képesség. Mindenütt problémát jelent majd a vízkészletek zsugorodási és a tengerparti régiók veszélyeztetettsége. Egyes területeken pozitív eredménye lehet a változásoknak, nőhet a mezőgazdasági termelés, csökkenhet a fűtési igény a melegedő északi területeken.

A változások a hőmérséklet növekedésének mértékétől függenek. Ha ez csak 1 és 3°C közé esik, Északon nőhet a mezőgazdasági termelés, de negatív lesz a hatás Délen. Ennél magasabb hőmérsékletnövekedés súlyos következményekkel járhat, például az óceánok szintjének már most is 20 cm-t elérő emelkedése, mely a grönlandi és antarktiszi jég olvadásának a következménye, súlyosan károsítaná a tengerparti régiókat.

Az árvizek gyakoriságának és méretének növekedése, a hóhullámok és más extrém időjárási események, melyekből már eddig is kijutott többeknek, ugyancsak súlyos veszélyeket hordoz. A néhány évvel ezelőtti párizsi hóhullámhoz hasonló helyzet károsítaná a mezőgazdaságot és növelné a halálozások számát, különösen az idősebb emberek körében. A hidegebb régiókban viszont előnyösebb lenne a helyzet, nőne a mezőgazdasági termelés és csökkenne a hideg által előidézett halálesetek száma. Az árvizek áradásokhoz és a talaj eróziójához vezethetnek,

melynek negatív hatása lehet a környezetre, a mezőgazdasági termelésre és az ivóvíz minőségére.

5. Mi a teendő?

Érvelésben keverednek a szigorúan tudományos tények, az ezekre épülő következtetések és a szubjektív benyomásaim, ezért nem állítom, hogy a fenti borús jövő biztosan beköszönt. Ennek valószínűsége azonban egyre nagyobb, ezért feltétlenül cselekedni kell. A kincstári optimisták úgy gondolják, hogy a technológia egy idő múlva mindent megold. A 20. század elejének Londonját elborította a lótrágya, miután olyan intenzív volt a lovas kocsik forgalma. Kiszámították, hogy hamarosan méteres magasságban terül el az egyébként a mezőgazdaságban kiválóan hasznosítható anyag, ezért megbénul a forgalom. Nem ez következett be, mert megjelent a gépkocsi, kitisztultak az utcák. Száz év múlva azonban a levegő szennyeződött el, elsősorban a közlekedés miatt.

Kézenfekvő gondolat a fosszilis üzemanyagok mennyiségének csökkentése. Számos alternatív energiaforrás létezik (atomenergia, biomassza, napelemek, víz, szél, földhő), ezek sem hoznak azonban megváltást. Az atomenergia ígéretesnek tűnik, de jelenleg nagy a társadalmi ellenállás vele szemben, ugyanakkor igen nagy az atomerőművek beruházási igénye, tízezer évekig le nem bomló, veszélyes hulladékot termelnek, és hatalmas mennyiségű hűtővizet igényelnek. A biomassza termelése elveszi a helyet az élelmiszertermelésé elől, ha pedig túl távolról szállítják az erőművekbe, többbe kerül a leves, mint a hús, a szállítási energiaigény meghaladhatja a kitermelt mennyiséget. A napelemek gyártásához különleges anyagokat használnak fel, ezek mennyisége korlátozott, emellett az elhasználandó elemek veszélyes hulladékként kezelendők, ártalmatlanításuk energiát igényel. A többi alternatív energiaforrás legfeljebb 10-20 százalékát képes biztosítani az egyre növekvő energiaigénynek, kihasználásuk tehát nem hoz megoldást. Sikerral kecsegtethetnek a kombinált megoldások, de félok, hogy az egyre növekvő energiaigényt ezek sem tudják kielégíteni.

Súlyosbítja a helyzetet, hogy már a nyakunkon van az olajhozam csúcs, vagyis az olajkitermelés tetőzése (12). A kutakból kinyerhető olaj mennyisége véges, egy idő múlva a kitermelés eléri a maximumát, majd csökkenni fog. Korábbi előrejelzések az USA kőolaj-kitermelésének maximumát 1965 és 1970 között jóslták meg, a tényleges csúcstól 1971-ben érték el. A világra vonatkozó előrejelzések szórnak, számos szerző jóslatának átlaga éppen erre az évre, 2010-re esik. Mivel az olajtársaságok a világpiaci árak befolyásolása érdekében vélhetően manipulálnak az adatokkal, bizonytalan a jóslás, de abban egyetlen székértő sem kételkedik, hogy legfeljebb egy-két évtizeden belül elérjük az olajhozam csúcsát. Csökkenni fog az üzemanyag mennyisége, nőni az ára, ami súlyos terhet rak majd (és rak már ma is) a szállításra, ezen keresztül pedig az gazdaságra. Paradox módon az olajcsúcs következtében csökkenni fog a kibocsátott szén-dioxid mennyisége, ami előnyös lesz a környezet szempontjából. Már a 2008-as pénzügyi válság is a gazdaság időleges zsugorodását okozta, ezért csökkent a légkörbe bocsátott üvegházhatású gázok mennyisége. A világ vezető hatalmai – legalábbis látszólag – nagy erőfeszítéseket tesznek az üvegházhatású gázok emissziójának korlátozására. A Kyotói Egyezmény még optimizmusra adott reményt, azonban 2009-ben, Koppenhágában már kudarcról beszéltek.

A magyar származású, Nobel díjas kémikus, Oláh György érdekes eljárást javasol a légköri szén-dioxid mennyiségének csökkentésére (13). A szén-dioxid katalitikus hidrogénezésével metanol állítható elő nagy mennyiségben, mely jó eséllyel helyettesítheti a fosszilis üzemanyagokat. Használható járművek hajtására, különösen akkor, ha benzinnel keverik, és sok más helyen. Előállításához hidrogénre van szükség, melyet elektrolízissel nyerünk, ehhez viszont energia kell. Ha lesz elég megújuló, szén-dioxidtól mentes energiaforrás, az eljárás

gátat vethet az üvegházhatású gázok mennyiségi növekedésének. Izlandon és Kínában már építettek e technológián alapuló vegyiműveket, az idő fogja eldönteni, hogy mire használhatók.

Mint láttuk, léteznek biztató technológiai megoldások, nehezen hihető, hogy ezek olyan gyorsan és olyan széles körben fognak elterjedni, mint amilyen mértékben növekszik az energiaigény. Nem kerülhető el tehát az anyagi fogyasztás növekedési ütemének, akár a fogyasztás jelenlegi szintjének a csökkentése. Ebben segítenek a széles körben alkalmazandó energiatakarékos programok, a közlekedés energiaigényének csökkentése, a lakóhelyek szigetelése, a termékek előállításához szükséges energia és anyag mennyiségének csökkentése (14). Mindenképpen le kell állni azonban a jelenlegi habzsolással, csökkenteni kell az értelmetlen anyagi fogyasztást, a felesleges csomagolóanyagok mennyiségét, a felesleges utazásokat (minden pillanatban 1 millió ember van repülőgépen a levegőben), ritkábban kell cserélni az autót, nem kell azonnal eldobni a néhány éve vásárolt árut. Takarékoskodni kell, márpedig az állandó növekedésre ítéltetett gazdaság ezt nem akarja, nem is képes rá, mivel a tőzsde megköveteli, hogy nőjön a profit. Termelni, hogy eladhassunk, eladni, hogy eldobhassunk, eldobni, hogy szemeteljünk. Bízunk benne, hogy ez a folyamat nem vált öngerjesztővé, még meg lehet állni és gátat vethetünk a klímaváltozásnak!

6. Irodalom

- (1) http://en.wikipedia.org/wiki/IPCC_Fourth_Assessment_Report#cite_note-0. Leolvasva: 2010. május 27.
- (2) http://hu.wikipedia.org/wiki/Glob%C3%A1lis_felmeleged%C3%A9s. Leolvasva: 2010. május 27.
- (3) http://www.esr.org/outreach/climate_change/mans_impact/man1.html. Leolvasva: 2010. május 27.
- (4) http://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_effect. Leolvasva: 2010. május 27.
- (5) http://www.espere.net/Unitedkingdom/water/uk_watervapour.html. Leolvasva: 2010. május 27.
- (6) L. pl. Náray-Szabó G.: *Fenntartható a fejlődés?* Akadémiai Kiadó, Budapest, 2003.
- (7) <http://www.geographic.hu/index.php?act=napi&id=3430>. Leolvasva: 2010. május 27.
- (8) <http://www.agroinform.com/aktualis/Agroinform-Hirszolgalat-Milliardos-viharkarok-vannak-az-agrarvilagban-a-kamara-szerint/20100519-12241/>. Leolvasva: 2010. május 27.
- (9) <http://www.geographic.hu/index.php?act=napi&id=3430>. Leolvasva: 2010. május 27.
- (10) http://www.ucsusa.org/global_warming/science_and_impacts/science/hurricanes-and-climate-change.html. Leolvasva: 2010. május 27.
- (11) http://home.ssl.berkeley.edu/forum_thread.php?id=51313. Leolvasva: 2010. május 27.
- (12) <http://hu.wikipedia.org/wiki/Olajhozam-cs%C3%BAcs>. Leolvasva: 2010. május 28.
- (13) G.A. Olah, A. Goepfert, G. K. Surya Prakash, *Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy*, Wiley-VCH, New York, 2006.
- (14) L. pl. G. Náray-Szabó, *The Role of Technology in Sustainable Consumption*. In: Heap B, Kent J (szerk.) *Towards Sustainable Consumption: A European Perspective*. London: The Royal Society, pp. 67-73.